

**IMPLEMENTASI *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* UNTUK
KLASIFIKASI LIMBAH PADAT BERBASIS CITRA DIGITAL**



SKRIPSI

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada Departemen Ilmu Komputer/Informatika**

Disusun oleh:

HANA NIBROSA

24010315130089

DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER/INFORMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA

UNIVERSITAS DIPONEGORO

2019

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hana Nibrosa

NIM : 24010315130089

Judul : Implementasi *Convolutional Neural Network* untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan di dalam daftar pustaka.


Semarang, 23 Desember 2019

Yang Menyatakan

METERAI
TEMPEL

E045EAF759425337

6000
ENAM RIBU RUPIAH


Hana Nibrosa

24010315130089

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Implementasi *Convolutional Neural Network* untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital

Nama : Hana Nibrosa

NIM : 24010315130089

Telah diujikan pada sidang tugas akhir pada tanggal dan dinyatakan lulus pada tanggal 5 Desember 2019.

Semarang, 23 Desember 2019

Mengetahui,



Ketua Departemen Ilmu Komputer/Informatika

Dr. Rendi Kusumaningrum, S.Si, M.Kom
NIP. 198104202005012001

Panitia Penguji Skripsi

Ketua,

Drs. Eko Adi Sarwoko, M.Kom
NIP. 1965110719920310003

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Implementasi *Convolutional Neural Network* untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital

Nama : Hana Nibrosa

NIM : 24010315130089

Telah diujikan pada sidang skripsi pada tanggal 5 Desember 2019

Semarang, 23 Desember 2019

Dosen Pembimbing



Priyo Sidik Sasongko, S.Si., M.Kom

NIP. 197007051997021001

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi *Convolutional Neural Network* untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital” sehingga memperoleh gelar sarjana strata satu pada Departemen Ilmu Komputer/Informatika pada Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Atas peran sertanya dalam membantu penyelesaian skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Widowati, S.Si, M.Si, selaku Dekan FSM UNDIP.
2. Dr. Retno Kusumaningrum, S.Si, M.Kom, selaku Ketua Departemen Ilmu Komputer/Informatika.
3. Panji Wisnu Wirawan, ST, M.T, selaku koordinator skripsi.
4. Priyo Sidik Sasongko, S.Si, M.Kom, selaku dosen pembimbing.
5. Semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan skripsi ini, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Semarang, 23 Desember 2019

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hana Nibrosa
NIM : 24010315130089
Program Studi : Informatika
Departemen : Ilmu Komputer/ Informatika
Fakultas : Sains dan Matematika
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive RoyaltyFree Right*) kepada Universitas Diponegoro atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Implementasi Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Semarang, 23 Desember 2019

ng Menyatakan



na Nibrosa

24010315130089

ABSTRAK

Selama periode Abad Pertengahan, limbah padat meningkat sangat besar sebagai akibat dari peningkatan populasi. Daur ulang menjadi bagian penting dari budaya sosial ekonomi di seluruh dunia. Untuk mengotomatiskan proses daur ulang, sangat penting untuk mengusulkan sistem cerdas untuk mendeteksi komponen limbah dengan benar. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *Convolutional Neural Network* untuk klasifikasi limbah padat berbasis citra digital ke dalam enam kelas yaitu kaca, kertas, kardus, plastik, logam, dan sampah. Citra yang diproses berukuran 56 x 56 piksel dengan channel RGB. Tahap *preprocessing* yang dilakukan adalah pengubahan ukuran citra. Arsitektur CNN yang digunakan terdiri atas 3 blok dengan masing-masing blok berisi *batch normalization layer*, *convolutional layer*, *maxpooling layer*, dan *dropout*. Hasil evaluasi model dengan 2021 data latih dan 506 data uji menunjukkan akurasi terbaik dengan kombinasi parameter pelatihan *learning rate* 0,001, nilai rasio kehilangan *dropout* 0,1 pada *pooling layer*, 0,25 pada *fully connected layer*, penggunaan augmentasi pada data latih, serta penggunaan jenis *maxpooling* pada *pooling layer*. Implementasi *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi limbah padat berbasis citra digital menunjukkan akurasi terbaik sebesar 84,39%.

Kata kunci : Limbah Padat, Citra, *Deep Learning*, *Convolutional Neural Network*.

ABSTRACT

During the Middle Ages period, solid waste increased enormously as a result of increasing population. Recycling is an important part of socio-economic culture throughout the world. To automate the recycling process, it is very important to propose an intelligent system to detect waste components correctly. This study aims to implement the Convolutional Neural Network for the classification of solid waste based digital image into six classes, namely glass, paper, cardus, plastic, metal, and trash. The processed image is 56 x 56 pixels with RGB channel. The preprocessing stage is image resizing. The CNN architecture used consists of 3 blocks where each block contains a batch normalization layer, convolutional layer, maxpooling layer, and dropout. The results of the model evaluation with 2021 training data and 506 test data showed the best accuracy with a combination of learning rate training parameters is 0,001, the value of the dropout loss ratio is 0,1 at the pooling layer, 0,25 at the fully connected layer, the use of augmentation on the training data, and the use of maxpooling in the pooling layer. The implementation of Convolutional Neural Network (CNN) for solid waste classification based digital image showed the best accuracy is 84.39%.

Keywords: Solid Waste, Image, Deep Learning, Convolutional Neural Network

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR <i>PSEUDOCODE</i>	xiv
DAFTAR KODE SUMBER.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Manfaat dan Tujuan	3
1.4. Ruang Lingkup.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Limbah Padat	5
2.2. Citra.....	6
2.3. <i>Data Augmentation</i>	7
2.3.1. <i>Rotation Image</i>	7
2.3.2. <i>Image Zooming</i>	8
2.3.3. <i>Image Shifting</i>	9
2.3.4. <i>Image Shearing</i>	10
2.4. <i>Convolutional Neural Network</i>	10

2.4.1.	Lapisan Konvolusi.....	11
2.4.2.	<i>Pooling Layers</i>	12
2.4.3.	<i>Batch Normalization</i>	14
2.4.4.	<i>Dropout</i>	15
2.4.5.	Fungsi Aktivasi <i>ReLU</i>	16
2.4.6.	Fungsi Aktivasi <i>Softmax</i>	17
2.4.7.	Proses <i>Forward Propagation</i>	18
2.4.8.	Proses <i>Backpropagation</i>	20
2.5.	Akurasi dan <i>Loss</i>	25
2.6.	Metode Adam.....	25
2.7.	Pengukuran Performa Evaluasi.....	26
2.8.	Tensorflow	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
4.1.	Pengumpulan Data	29
4.2.	<i>Preprocessing</i> Citra	31
4.3.	Augmentasi Citra	32
4.3.1.	<i>Rotation Image</i>	32
4.3.2.	<i>Image Zooming</i>	33
4.3.3.	<i>Image Shifting</i>	34
4.3.4.	<i>Image Shearing</i>	35
4.4.	Pembagian Dataset.....	37
4.5.	Arsitektur CNN.....	37
4.6.	Pelatihan Model	41
4.7.	Evaluasi Model	79
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		82
4.1.	Lingkungan Implementasi	82
4.2.	Skenario Penelitian	82
4.3.	Hasil Pelatihan Model.....	83
4.3.1.	Hasil dan Analisa pada Penggunaan Augmentasi Citra	83
4.3.2.	Hasil dan Analisa pada Penggunaan Jenis <i>Pooling Layer</i>	84
4.3.3.	Hasil dan Analisa pada Perubahan Nilai <i>Dropout</i>	84
4.3.4.	Hasil dan Analisa pada Perubahan Nilai <i>Learning Rate</i>	86

BAB V PENUTUP	91
5.1. Kesimpulan	91
5.2. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Pemutaran Citra (a) Citra Awal, (b) Rotasi 90°, (c) Rotasi 180°, dan (d) Rotasi 270°	8
Gambar 2. 2 Pembesaran pada Citra	9
Gambar 2. 3 Pergeseran pada Citra	9
Gambar 2. 4 Pemotongan pada Citra.....	10
Gambar 2. 5 Operasi Konvolusi dengan <i>Stride</i> 1 (a) Input data I berukuran 5x5 (b) Filter k 3x3 (c) Bidang <i>Receptive c</i> 3x3 (<i>Arrofiqoh & Harintaka, 2018</i>).....	12
Gambar 2. 6 Ilustrasi Proses <i>Maxpooling</i> (<i>Suartika, Wijaya, & Soelaiman, 2016</i>)	13
Gambar 2. 7 Ilustrasi Proses <i>AveragePooling</i> (<i>Morales, 2018</i>)	14
Gambar 2. 8 Penggunaan <i>Dropout</i> pada <i>Neural Network</i> (<i>Srivastava, hinton, Krizhevsky, Sutskever, & Salakhutdinov, 2014</i>)	15
Gambar 2. 9 Fungsi Aktivasi ReLU (<i>Nurhikmat, 2018</i>)	16
Gambar 2. 10 Arsitektur CNN (<i>Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012</i>).....	18
Gambar 3. 1 Alur Proses Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Ilustrasi pada Proses <i>Resizing Image</i>	31
Gambar 3. 3 Arsitektur CNN yang Diusulkan	38
Gambar 3. 4 <i>Flowchart</i> Pelatihan CNN	42
Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Nilai <i>Dropout</i> terhadap Akurasi.....	85
Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Nilai <i>Learning Rate</i> terhadap Akurasi	87
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh <i>Epoch</i> terhadap Akurasi pada Model CNN Terbaik	87
Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh <i>Epoch</i> terhadap Loss pada Model CNN Terbaik	88
Gambar 4. 5 <i>Confusion Matrix</i> Model CNN Terbaik.....	88
Gambar 4. 6 Hasil <i>Precision, Recall, dan F1-Score</i> untuk Arsitektur CNN Terbaik.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pengukuran Performa Evaluasi	27
Tabel 3. 1 Sebaran Data Jenis Sampah pada Dataset	29
Tabel 3. 2 Representasi Kelas untuk Jenis Sampah	30
Tabel 3. 3 <i>Confusion Matrix</i> Hasil Prediksi Akhir	80
Tabel 3. 4 Perhitungan <i>Precision, Recall, F1-Score</i>	80
Tabel 4. 1 Akurasi dan <i>Loss</i> pada Penggunaan Augmentasi Data	83
Tabel 4. 2 Akurasi dan <i>Loss</i> pada Penggunaan Jenis <i>Pooling</i>	84
Tabel 4. 3 Akurasi dan <i>Loss</i> pada Perubahan Nilai <i>Dropout</i>	85
Tabel 4. 4 Akurasi dan <i>Loss</i> pada Perubahan Nilai <i>Learning Rate</i>	86

DAFTAR *PSEUDOCODE*

<i>Pseudocode 2. 1</i> Proses Transformasi Matriks.....	32
<i>Pseudocode 2. 2</i> Fungsi <i>RotateImage</i>	32
<i>Pseudocode 2. 3</i> Fungsi <i>ZoomImage</i>	33
<i>Pseudocode 2. 4</i> Fungsi <i>ShiftImage</i>	35
<i>Pseudocode 2. 5</i> Fungsi <i>ShearImage</i>	36

DAFTAR KODE SUMBER

Kode Sumber 2. 1 Lapisan BatchNormalization	39
Kode Sumber 2. 2 Lapisan Konvolusi.....	39
Kode Sumber 2. 3 Lapisan Aktivasi ReLU	40
Kode Sumber 2. 4 Lapisan Pooling (MaxPooling).....	40
Kode Sumber 2. 5 Lapisan Dropout	40
Kode Sumber 2. 6 Lapisan Aktivasi Softmax	41

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan pada skripsi yang berjudul *Implementasi Convolutional Neural Network* untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital.

1.1. Latar Belakang

Pengelolaan dan daur ulang limbah padat adalah bagian mendasar dari ekonomi yang berkelanjutan (Bircanoğlu, Atay, Beser, Genc, & Kızrak, 2018). Selama periode Abad Pertengahan, limbah padat meningkat sangat besar sebagai akibat dari peningkatan populasi (Williams, 2005). Berdasarkan hasil riset Analisis Arus Limbah Padat, Rantai Nilai, dan Daur Ulang di Indonesia yang dilakukan oleh *Sustainable Waste Indonesia (SWI)* pada 2017, mengungkapkan sebanyak 24 persen limbah padat di Indonesia masih tidak terkelola. Ini artinya, dari sekitar 65 juta ton limbah padat yang diproduksi di Indonesia tiap hari, sekitar 15 juta ton mengotori ekosistem dan lingkungan karena tidak ditangani. Sedangkan, 7 persen limbah padat didaur ulang dan 69 persen limbah padat berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Dari laporan itu diketahui juga jenis limbah padat yang paling banyak dihasilkan adalah limbah padat organik sebanyak 60 persen, limbah padat plastik 14 persen, diikuti limbah padat kertas (9%), metal (4,3%), kaca, kayu dan bahan lainnya (12,7%) (CNN Indonesia, 2018). Data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2014 mencatat hanya 18,84 persen masyarakat Indonesia yang memilah limbah padat berdasarkan jenisnya (Badan Pusat Statistik, 2014).

Selama abad ke-18, pengelolaan limbah industri menjadi konsekuensi tak terhindarkan dari pendirian masyarakat modern (Amick, 2014). Melalui akhir abad ke-20, terutama tahun 1970-an, menjadi tahun peningkatan kesadaran lingkungan (Cummings, 1977). Hari Bumi pertama diusulkan pada tahun 1970 untuk menekankan pentingnya melindungi lingkungan alam. Daur ulang menjadi bagian penting dari budaya sosial ekonomi di seluruh dunia sebagai hasil dari peningkatan kesadaran (Lipset, 1974). Daur

ulang diperlukan untuk masyarakat yang berkelanjutan. Proses daur ulang saat ini membutuhkan fasilitas daur ulang untuk memilah limbah padat dengan tangan dan menggunakan serangkaian filter besar untuk memisahkan benda-benda dengan lebih jelas (Yang & Thung, 2016). Untuk mengotomatiskan proses daur ulang, bersama dengan pengomposan dan insinerator yang ditingkatkan, sangat penting untuk mengusulkan sistem cerdas untuk mendeteksi komponen limbah dengan benar. Tujuan utama dari pekerjaan ini adalah untuk menunjukkan sistem intelijen yang efisien untuk mengklasifikasikan kelas terpilih dari bahan limbah umum (Bircanoğlu, Atay, Besler, Genc, & Kızrak, 2018).

Pendekatan *Support Vector Machine* (SVM) dan *deep learning : neural network* banyak digunakan dalam klasifikasi citra. Klasifikasi citra limbah padat pertama kali dilakukan oleh mahasiswa *Stanford University*, Mindy Yang dan G. Thung. Mindy Yang dan Gary Thung menggunakan SVM mencapai hasil yang lebih baik daripada jaringan saraf tiruan. SVM mencapai akurasi 63% menggunakan 70/30 *train/test data split*. Sedangkan penelitian menggunakan jaringan saraf tiruan hanya memperoleh akurasi pengujian 27% (akurasi pelatihan 23%) (Yang & Thung, 2016). Penelitian mengenai klasifikasi citra limbah padat juga dilakukan oleh Cenk Bircanoğlu, et al. Cenk Bircanoğlu, et al menggunakan *RecycleNet (Convolutional Neural Network)* menghasilkan 81% akurasi pengujian. Ia juga melakukan penelitian klasifikasi citra limbah padat menggunakan beberapa jenis arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN). Model InceptionResNetV2 mencetak akurasi hampir 90%. Dengan menyetel 121 model DenseNet berlapis 6, hasil akurasi pengujian mencapai 95% (Bircanoğlu, Atay, Besler, Genc, & Kızrak, 2018).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian pada skripsi ini mengimplementasikan CNN terlatih atau pembelajaran dari awal untuk mengklasifikasikan citra limbah padat di antaranya kardus, kaca, logam, kertas, plastik dan sampah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat disimpulkan suatu permasalahan yaitu bagaimana mengimplementasikan *Convolutional Neural Network* untuk klasifikasi limbah padat berbasis citra digital.

1.3. Manfaat dan Tujuan

Tujuan umum yang ingin dicapai dari penelitian skripsi ini adalah mengimplementasikan arsitektur *Convolutional Neural Network* terbaik untuk klasifikasi limbah padat berbasis citra digital. Secara lebih mendetail, tujuan tersebut dapat dijabarkan ke dalam beberapa tujuan khusus, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan augmentasi citra pada klasifikasi citra limbah padat.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan jenis *pooling layer* pada arsitektur *Convolutional Neural Network* yang dibangun.
3. Mengetahui pengaruh *dropout* pada arsitektur *Convolutional Neural Network* yang dibangun.
4. Mengetahui pengaruh *learning rate* pada klasifikasi limbah padat berbasis citra digital.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian skripsi ini adalah penerapan model yang telah dikembangkan dapat memberikan kontribusi terhadap penelitian terkait klasifikasi pada citra limbah padat yang dapat menjadi pandangan untuk penelitian-penelitian sejenis selanjutnya.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam melaksanakan penelitian skripsi tentang pengimplementasian *Convolutional Neural Network* untuk klasifikasi limbah padat berbasis citra digital adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah *TrashNet dataset* yang dipublikasikan oleh Gary Thung selaku pembuat arsitektur CNN : *TrashNet* dan peneliti *Classification of Trash for Recyclability Status*.
2. Data yang digunakan memiliki syarat berlatar belakang kosong atau polos atau dengan kata lain tidak terdapat objek lain selain data utama itu sendiri.
3. Citra limbah padat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 6 jenis yaitu, kardus, kaca, logam, kertas, plastik dan sampah.

4. Dataset sebanyak 2.527 digunakan dengan pembagian 80% untuk data latih dan 20% untuk data pengujian.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan pada skripsi tentang Implementasi *Convolutional Neural Network* untuk Klasifikasi Limbah Padat Berbasis Citra Digital terbagi menjadi beberapa pokok bahasan. Berikut adalah sistematika penulisan dari skripsi ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan, ruang lingkup dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka membahas teori-teori yang berhubungan dan mendukung topik atau masalah yang dibahas pada skripsi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metodologi penelitian yang digunakan dalam pengimplementasian *Convolutional Neural Network* untuk klasifikasi limbah padat berbasis citra digital.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan meliputi penjelasan beberapa skenario eksperimen dan analisa dari hasil eksperimen tersebut.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari bab-bab yang telah dibahas dan berisi saran sebagai bahan masukan untuk pengembangan lebih lanjut.